

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА

І. Г. Абраменко, Д. І. Абраменко

Методичні вказівки

до виконання лабораторних робіт

з курсу

«АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД»

*(для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання напряму
6.050701 «Електротехніка та електротехнології» (0906 «Електротехніка»)
зі спеціальності «Електротехнічні системи електроспоживання»)*

Харків ХНАМГ 2010

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Автоматизований електропривод» (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання напрямку 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» (0906 «Електротехніка») зі спеціальності «Електротехнічні системи електроспоживання») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: І. Г. Абраменко, Д. І. Абраменко. – Х.: ХНАМГ, 2010. – 31 с.

Укладачі: І. Г. Абраменко,
Д. І. Абраменко

Рецензент: доц., к.т.н. П. П. Рожков

Рекомендовано кафедрою «Електропостачання міст»,
протокол № 4 від 12.11.2010 р.

ПЕРЕДМОВА

Електропривод широко використовують у різних галузях народного господарства. Це один із самих енергоємних споживачів і перетворювачів енергії. Теорія регульованого електроприводу, що нараховує вже не один десяток років, постійно розвивається разом з удосконалюванням конструктивних рішень. Особливо інтенсивний розвиток вона одержала останнім часом завдяки вдосконаленню традиційних і створенню нових силових керованих напівпровідникових приладів, інтегральних схем, розвитку цифрових інформаційних технологій і розробці різноманітних систем мікропроцесорного керування.

Володіння теорією в області регульованого електроприводу є необхідним елементом технічної культури, важливою складовою професійної підготовки студентів спеціальності “Електротехнічні системи електроспоживання”.

Сьогодні досягнення такої мети можливо лише при застосуванні нових форм навчання з використанням комп'ютерних технологій, що базуються на сучасних прикладних програмах. Комп'ютерні технології, в основі яких лежать прикладні математичні пакети, надають можливість більш глибокого вивчення питань, пов'язаних із проектуванням напівпровідникового електроприводу. Вони дозволяють якісно змінити й істотно поліпшити технологію вивчення, перевести її у віртуальну дійсність, здійснити в цій віртуальній лабораторії необхідні дослідження з одержанням кількісних результатів.

Лабораторний практикум з дисципліни «Автоматизований електропривод» спрямований на вивчення методів математичного моделювання динамічних режимів в електроприводах постійного струму за допомогою сучасного програмного пакета інженерних і наукових обчислень **MatLab** з використанням підсистеми моделювання динамічних процесів **Simulink** і блоків різних розширень **Blockset** і **Toolbox** фірми The MathWorks Inc. Для користувача це конструктор, за допомогою якого він може поєднувати блоки, що відповідають окремим елементам динамічної системи в єдине ціле й вивчати їхнє поведіння в часі.

1. Теоретичні відомості й рекомендації

1.1. Опис моделі двигуна постійного струму

Моделювання режимів роботи двигуна постійного струму (ДПС) з незалежним збудженням проводиться в середовищі **Simulink**. Піктограма ДПС **DC Machine** розташовується в бібліотеці **SimPowerSystems/Machines** і наведена на рис. 1.

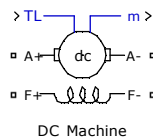


Рис. 1 – Піктограма моделі ДПС **DC Machine**

Модель двигуна складається із двох частин електромагнітної й механічної (рис. 2).

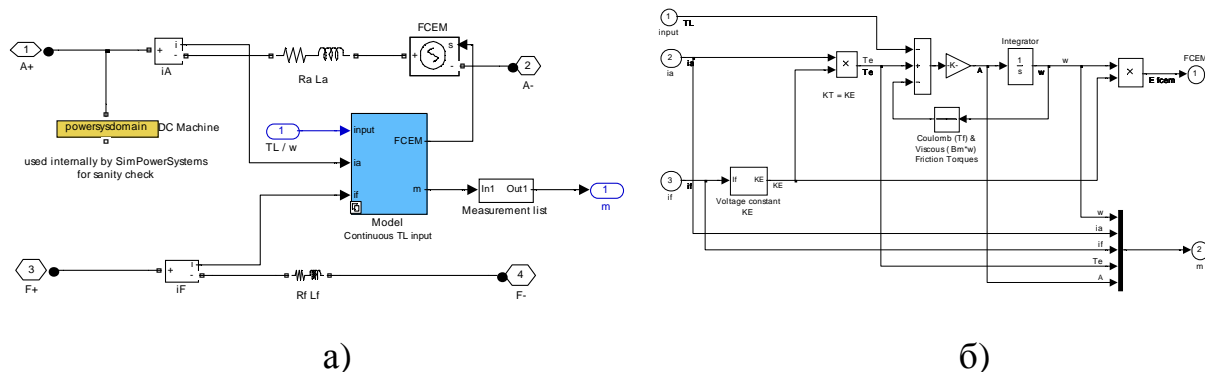


Рис. 2 - Математична модель ДПС:

а) електромагнітна частина; б) механічна частина

Електромагнітна частина моделі включає:

- якорний ланцюг (Armature circuit), що приєднується до зовнішнього ланцюга за допомогою портів $+A$, $-A$ і містить послідовно з'єднані активний опір $R_{\text{яд}}$, індуктивність $L_{\text{яд}}$, джерело протидіє (FCEM) і блок виміру струму якоря;

- ланцюг збудження (Field circuit), що приєднується до зовнішнього ланцюга за допомогою портів $+F$, $-F$ і містить послідовно з'єднані активний опір R_B , індуктивність L_B і блок виміру струму збудження.

Двигун незалежного збудження є найпоширенішим типом двигунів постійного струму. При його математичному описі будемо вважати, що розмагнічуючу дію реакції якоря скомпенсовано, а результуюча індуктивність якоря, обумовлена потоками розсіювання обмотки якоря, компенсаційних і додаткових полюсів, постійна. Не будемо враховувати також розмагнічуючу дію вихрових струмів, що виникають у масивних частинах магнітопроводу, а індуктивність обмотки збудження приймемо постійною.

При прийнятих допущеннях електромагнітні процеси у двигуні описуються рівняннями:

$$u_d = e_d + R_{яд} i_d + L_{яд} \frac{di_d}{dt}; \quad u_B = R_B i_B + L_B \frac{di_B}{dt},$$

де: u_d , i_d - напруга й струм якінного ланцюга; e_d - ЕРС обмотки якоря; u_B , i_B - напруга й струм збудження.

Величину e_d обчислюють за формулою

$$e_d = c_e \Phi \omega,$$

де: ω - кругова частота обертання вала електродвигуна; c_e - конструктивний коефіцієнт; Φ - основний магнітний потік.

Величину $c_e \Phi$ обчислюють за формулою

$$c_e \Phi = L_{яв} i_B,$$

де $L_{яв}$ - взаємодуктивність між обмоткою якоря й обмоткою збудження.

Механічна частина моделі описується рівнянням:

$$J_{пр} \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{э}} - M_c - M_f - B_m \omega,$$

де: M_{ϑ} - електромагнітний момент двигуна; M_c - момент опору навантаження; M_f - момент сухого тертя; B_m - коефіцієнт в'язкого тертя; $J_{пр}$ - наведений момент інерції електроприводу.

Механічна частина моделі представлена інтегратором і підсилювачем з коефіцієнтом передачі $K = 1/J_{пр}$, а також відповідними суматорами й перемножувачем.

Величину електромагнітного моменту двигуна обчислюють відповідно за формулою

$$M_{\vartheta} = c_m \Phi i_d.$$

У моделі прийнято, що $c_e = c_m$.

На вхід механічної частини (порт **TL**) подаються момент опору навантаження M_c , струм i_d і струм i_b . З виходу механічної частини знімаються ЕРС e_d (цей сигнал подається на електромагнітну частину моделі) і чотири величини (ω , i_d , i_b , M_{ϑ}), об'єднані у вектор, який подається на вихідний вимірювальний порт "m".

Вікно завдання параметрів ДПС надане на рис. 3.

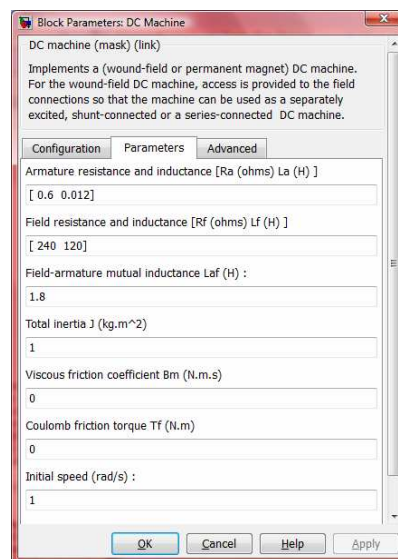


Рис. 3 - Вікно завдання параметрів ДПС

На вкладці **Configuration** задаються:

- **Mechanical input** момент або швидкість зовнішнього навантаження. У першому випадку двигун буде являти собою джерело швидкості, величина якого визначається прикладенням до вала моментом і параметрами двигуна. У другому випадку двигун буде являти собою джерело моменту, величина якого визначається заданою швидкістю й параметрами двигуна. Це дозволяє реалізувати в моделі механічний зв'язок валів двох двигунів;

- **Field type** тип магнітної системи.

На вкладці **Parameters** задаються параметри двигуна:

- **Armature resistance and inductance** [Ra (ohms) La (H)] - $R_{\text{яд}}$, (Ом) і $L_{\text{яд}}$ (Гн);

- **Field resistance and inductance** [Rf (ohms) Lf (H)] - $R_{\text{в}}$, (Ом) і $L_{\text{в}}$ (Гн);

- **Field-armature mutual inductance** Laf (H) - $L_{\text{яв}}$ (Гн);

- **Total inertia** J (kg.m²) - $J_{\text{пр}}$, (кг·м²);

- **Viscous friction coefficient** Bm (N.m.s) - B_m (Нмс);

- **Coulomb friction torque** Tf (N.m) - M_c (Нм);

- **Initial speed** (rad/s) - початкова кутова швидкість вала двигуна ω (рад/с).

Параметри ДПС із незалежним збудженням визначають на основі каталожних даних за наступними формулами:

$$I_{\text{дн}} = 1000 \frac{P_{\text{дн}}}{U_{\text{дн}}} \eta_{\text{дн}}, \text{ А}; \quad \omega_{\text{дн}} = \frac{\pi n_{\text{дн}}}{30}, \text{ рад/с}; \quad M_{\text{дн}} = 1000 \frac{P_{\text{дн}}}{\omega_{\text{дн}}}, \text{ Нм};$$
$$c_e = c_m = \frac{U_{\text{дн}} - I_{\text{дн}} R_{\text{д}}}{\omega_{\text{дн}}}; \quad i_{\text{в}} = \frac{u_{\text{в}}}{R_{\text{в}}}, \text{ А}; \quad L_{\text{в}} = (2 \div 5) \frac{L_{\text{яд}} R_{\text{в}}}{R_{\text{д}}}, \text{ Гн}; \quad L_{\text{яв}} = \frac{M_{\text{дн}}}{I_{\text{дн}} i_{\text{в}}}, \text{ Гн}.$$

де: $I_{\text{дн}}$ - номінальний струм обмотки якоря; $U_{\text{дн}}$ - номінальна напруга обмотки якоря; $M_{\text{дн}}$ - номінальний момент; $P_{\text{дн}}$ - номінальна потужність; $n_{\text{дн}}$ - номінальна швидкість обертання якоря (об/хв); $\omega_{\text{дн}}$ - номінальна кругова частота обертання якоря (рад/с); $\eta_{\text{дн}}$ - коефіцієнт корисної дії.

1.2. Моделювання моменту опору навантаження

При моделюванні режимів роботи електроприводу важливо коректно змоделювати характер зміни моменту опору навантаження M_c .

Розрізняють активні й реактивні M_c . Між ними є істотна відмінність: реактивний момент зі зміною напрямку руху також міняє свій напрямок, активний же момент зберігає його постійним.

Крім цього, незважаючи на велику розмаїтість робочих машин (РМ), моменти навантаження можна укрупнено класифікувати за наступними групами:

- з постійним моментом навантаження ($M_c(\omega) = const$);
- з моментом, що залежить від кута повороту вала α - $M_c = f(\alpha)$;
- з моментом, що змінюється випадковим чином у часі (бурові верстати, дробилки й інші подібні механізми);
- з моментом, що залежить від швидкості обертання робочого органу

$$M_c(\omega) = M_{c,n} \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^n,$$

де: $M_{c,n}$ - статичний момент опору при номінальній швидкості ω_n ; n - коефіцієнт.

При $n = 1$ маємо лінійну залежність статичного моменту від швидкості, що характерно, наприклад, для генераторів постійного струму, що працюють на постійний опір.

При $n = 2$ одержуємо так звану вентиляторну характеристику, яку мають вентилятори, гребні гвинти, відцентрові насоси й подібні механізми.

При $n = -1$ має місце гіперболічна залежність, характерна для більшості металорізальних верстатів, коли зі збільшенням подачі різця (збільшення зусилля різання) знижується швидкість обробки деталі.

Момент опору першої групи моделюється за допомогою блоку **Constant** пакета **Simulink**.

Для моделювання залежності $M_c = f(\alpha)$ необхідно мати інформацію про кут повороту вала, яку можна визначити інтегруванням вхідної координати – частоти обертання. На рис. 4 надана структура, що моделює наступну залежність:

- при зміні α від $-\pi$ до $-\pi/2$ момент навантаження дорівнює 5 Нм ;
- при зміні α від $-\pi/2$ до 0 момент навантаження дорівнює 10 Нм ;
- при зміні α від 0 до $\pi/2$ момент навантаження дорівнює 15 Нм ;
- при зміні α від $\pi/2$ до π момент навантаження дорівнює 20 Нм .

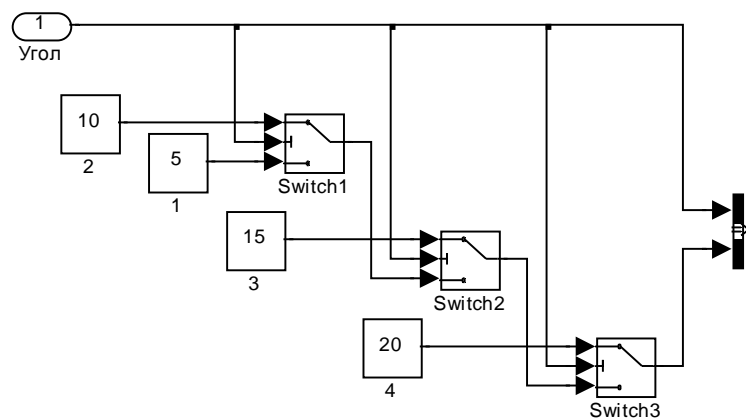


Рис. 4

Функціональна залежність реалізується декількома елементами **switch** (ключ). В установках ключів задані значення кута повороту, при яких відбувається перемикавання на інше значення M_c . Умова перемикавання - значення на керуючому вході більше, або дорівнює заданому значенню.

На рис. 5 наведена модель реактивного статичного моменту, величина якого змінюється випадковим образом.

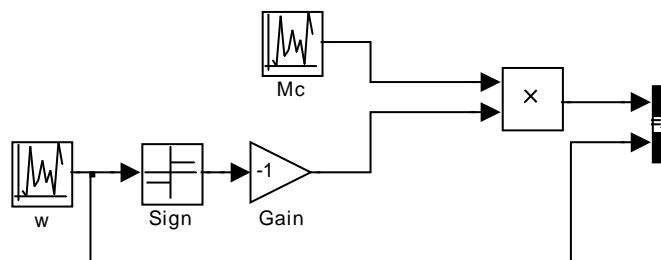


Рис. 5

Для моделювання реактивного характеру статичного моменту використовують блоки визначення знака **sign**, підсилювача **gain** і лінійного перемножувача.

Моделювання випадкової залежності $M_c = f(t)$ від часу реалізується блоком **Uniform Random Number**. У настройках блоку є можливість завдання границь випадкової величини (Minimum, Maximum) і частоти зміни величини (Sample time).

Для моделювання M_c механізмів другої групи може бути використана структура, яка наведена на рис. 6.

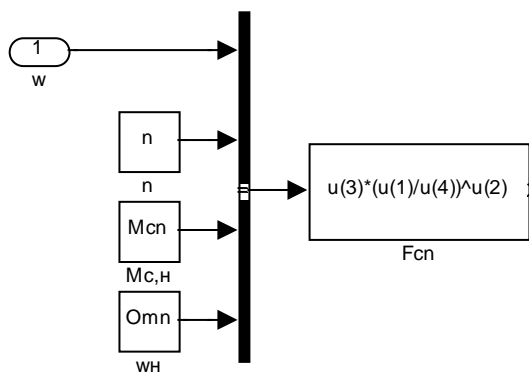


Рис. 6

Для побудови моделі використовують блоки **BusCreator**, **Function Block Parameters** і **Constant**.

1.3. Особливості роботи ДПС

Використовуємо двигуни серії 2П. Ці електродвигуни призначені для роботи на номінальні напруги якорного ланцюга - 110, 220, 440, 600 В. Збудження незалежне, номінальна напруга збудження 110 і 220 В.

Частота обертання електродвигунів може регулюватися як зміною напруги якорного ланцюга, так і ослабленням поля. Ослабленням поля допускається збільшення частоти обертання.

Схема включення двигуна постійного струму незалежного збудження наведена на рис. 7

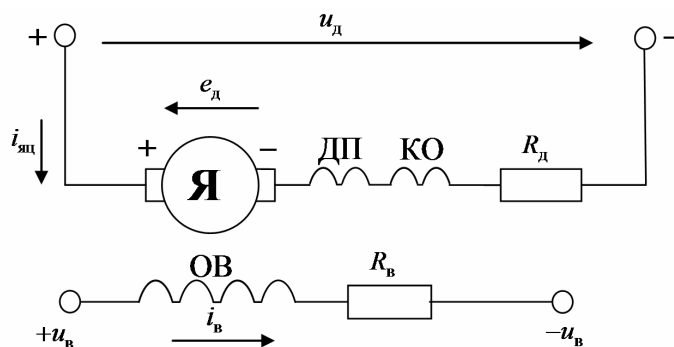


Рис. 7 - Схема включення двигуна постійного струму незалежного збудження:

ДП - додаткові полюси, КО - компенсаційна обмотка

При пуску двигуна необхідно виконати дві основних умови: не допустити надмірно великого пускового струму, небезпечного для обмотки якоря, щіткових контактів і колектора; забезпечити пусковий момент, необхідний для розгону двигуна з робочим механізмом. Ці умови забезпечуються належним вибором пускового резистора.

При збільшенні частоти обертання якоря опір пускового резистора варто зменшувати. Зниженням опору резистора, а також належним вибором його значення домагаються того, що пусковий струм і момент двигуна під час пуску змінюються в заданих межах, забезпечуючи необхідні умови розгону виконавчого механізму (рис. 8).

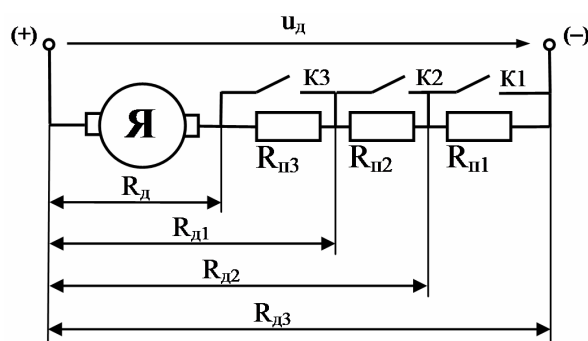


Рис. 8 - Схема включення ДПС при пуску в три ступені

Сукупність реостатних характеристик, за якими протікає процес розгону двигуна при автоматичному керуванні, називається пусковою діаграмою.

Тут $R_{п1}$, $R_{п2}$, $R_{п3}$ - опори пускових ступенів.

Число пускових ступенів прискорення для двигунів малої потужності (до 10 кВт) дорівнює 1 - 2, для двигунів середньої потужності (до 50 кВт) 2 - 3, а для двигунів великої потужності 3-4.

Опори ступенів пускового реостата розраховують таким чином, щоб при їх закорочуванні струм якоря змінювався в заздалегідь обраних межах: пусковий струм $I_{д,пуск}$ - струм перемикавання $I_{д,пер}$.

Значення цих струмів звичайно приймають рівними:

$$I_{д,пуск} = (2 \div 2,5)I_{дн}; \quad I_{д,пер} = (1,1 \div 1,2)I_{дн}.$$

Тоді:

$$R_{п1} = \frac{U_{дн}(\lambda - 1)}{I_{д,пуск}\lambda}; \quad R_{п2} = \frac{R_{п1}}{\lambda} \text{ і т.д.,}$$

де

$$\lambda = m \sqrt{\frac{U_{дн}}{R_{д} I_{д,пуск}}}.$$

Тут m - кількість ступенів.

ДПС може працювати в трьох режимах гальмування:

- генераторному, з віддачею електроенергії в мережу (рекуперативне гальмування);
- динамічного гальмування;
- гальмування противключенням.

Генераторне гальмування з віддачею електроенергії в мережу має місце в тому випадку, коли якір двигуна обертається зі швидкістю вищою швидкості ідеального холостого ходу, а ЕРС двигуна більша прикладеної напруги якоря. При цьому двигун може віддавати енергію в мережу за винятком втрат.

Особливості генераторного гальмування ДПС із незалежним збудженням:

- гальмування супроводжується віддачею енергії в мережу;
- зі збільшенням опору якірного ланцюга при одній і тій же швидкості гальмовий момент зменшується, а при тому самому гальмовому моменті швидкість зростає;

- цей вид гальмування має місце при регулюванні швидкості зміною напруги якоря або зміною магнітного потоку двигуна.

Динамічне гальмування - має місце в тому випадку, коли якір двигуна відключається від живильної мережі й замикається на опір гальмового реостата, а обмотка збудження залишається включеною на мережу, при цьому двигун перетворюється в генератор з незалежним збудженням.

Особливості динамічного гальмування ДПС із незалежним збудженням:

- гальмування економічне, тому що енергія з мережі не споживається;
- забезпечує високу точність зупинки приводу (точність тим вища, чим з меншою швидкістю гальмується двигун, тому може застосовуватися гальмування у дві або три ступені). Це широко використовують в приводах верстатів.

Недоліки: зниження величини опору якірної ланцюга веде до зменшення швидкості й гальмового моменту (струму), внаслідок чого збільшується час гальмування.

Гальмування противключенням - має місце у тому випадку, коли якір двигуна включений для одного напрямку обертання, а обертається в протилежному напрямку.

Гальмування противключенням можливо у двох випадках:

Перший випадок - режим гальмового спуску, він має місце при наявності активного моменту опору на валу двигуна й не вимагає ніяких комутацій у ланцюгах електродвигуна. Цей режим досягається при введенні додаткового опору в якірний ланцюг. Причому величина опору підбирається такою, щоб електро-механічна характеристика електродвигуна мала низьку жорсткість і забезпечувала негативну величину кутової швидкості при певному моменті статичного опору. Такий вид гальмування може мати місце в приводі підйомника, коли двигун включений на підйом, а момент, що розвивається вантажем, змушує електродвигун обертатися в протилежну сторону.

Особливості гальмування противключенням ДПС незалежного збудження:

- гальмування противключенням неекономічне;
- гальмування швидкоплинне;

- при наявності активного моменту на валу електродвигуна необхідно зробити його відключення від живильної мережі з подальшим накладенням гальма, з метою виключення його розгону у зворотну сторону (реверсування).

Регулювання швидкості відповідно до вимог технологічного процесу є однією з основних завдань автоматизованого електроприводу. Регульований електропривод дозволяє змінювати швидкість виробничого механізму відповідно до керуючого впливу, вироблюваного системою регулювання або оператором. Регулювання й підтримка швидкості на заданому рівні повинне виконуватись незалежно від сил опору, що діють на електромеханічну систему.

Для кількісного визначення вимог до електроприводу, і для зіставлення різних способів регулювання швидкості використовують узагальнені показники регулювання швидкості. Основні з них: діапазон регулювання, точність і стабільність регулювання, плавність, динамічні показники якості, економічність регулювання та ін.

Основною характеристикою регульованого електроприводу є діапазон регулювання швидкості

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}},$$

характеризується відношенням середніх значень максимальної швидкості до мінімальної, які можуть бути реалізовані при даному способі регулювання і заданому діапазоні зміни збурюючих впливів.

Максимальна швидкість двигуна – це або номінальна швидкість двигуна, або максимальна для двигунів, що допускають регулювання швидкості нагору від номінальної шляхом ослаблення магнітного потоку. Деякі типи двигунів серії 2П допускають збільшення швидкості в 2...4рази. Мінімальна швидкість привода визначається головним чином стійкістю обертання при коливаннях навантаження в заданих межах. Звичайно нижня межа регулювання швидкості визначається при номінальному моменті двигуна за допомогою механічної характеристики, для якого $M_{к.з.} = 2M_n$ (рис. 9).

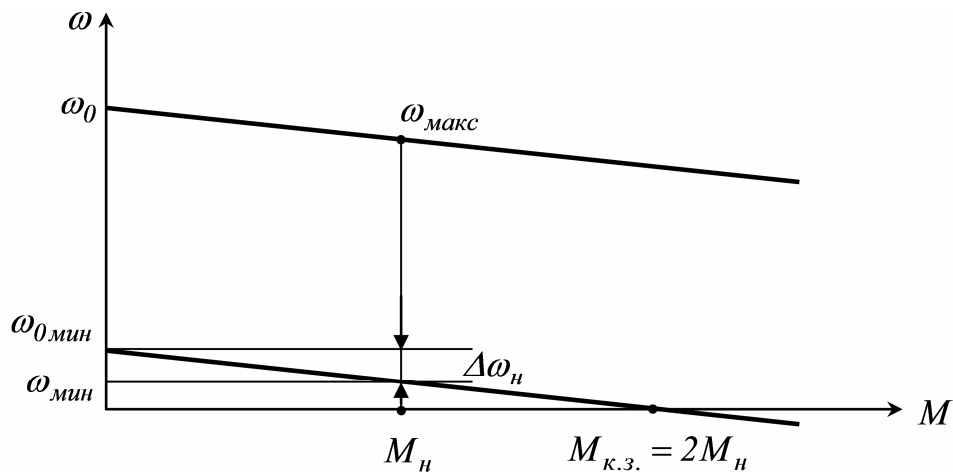


Рис. 9 - До визначення діапазону регулювання швидкості при зміні збурюючого впливу $\Delta M = 2M_n$

Згідно з позначеннями, прийнятими на рис. 9, діапазон регулювання при заданому діапазоні зміни впливу, визначається як

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} = \frac{\omega_{\max}}{\Delta\omega_n} = \frac{\omega_{\max}\beta}{M_n},$$

де $\beta = \frac{\Delta M}{\Delta\omega}$ – модуль жорсткості механічної характеристики двигуна.

Точність регулювання швидкості визначається відношенням зміни швидкості при зміні навантаження в заданому діапазоні до її середнього значення. Основним показником, що характеризує точність регулювання швидкості, є статична жорсткість механічної характеристики. Чим вищий цей показник, тим більша точність регулювання швидкості.

Плавне й економічне регулювання швидкості двигуна постійного струму в широких межах реалізується шляхом зміни напруги, прикладеної до якоря.

Для чого двигун підключається до незалежного керованого перетворювача, вихідна напруга якого регулюється в широких межах. Потужність цих перетворювачів трохи більша потужності електродвигуна. В якості керуючих приладів використовуються:

- генератор постійного струму (система Г-Д);
- керований тиристорний перетворювач (система ТП-Д);
- широтно-імпульсний перетворювач (система ШП-Д).

2. Лабораторний практикум

2.1. Лабораторна робота №1. Моделювання східчастого пуску ДПС незалежного збудження у функції струму

Ціль роботи

Одержання природної й штучних механічних характеристик ДПС із незалежним збудженням при реостатному пуску.

Порядок виконання роботи

Відповідно до варіанта завдання, використовуючи табл.1, розрахувати вхідні параметри ДПС незалежного збудження серії 2П, необхідні для моделювання. Для цього можна використовувати наступну програму, складену в середовищі **MatLab**.

```
clear
% Каталожні дані двигуна
Pn=75;Un=440;Nn=3150;Kpd=0.915;Rac=0.051;Lac=0.0012;
Rv=31.7; J=0.3; Uv=220;
% Визначення параметрів двигуна
Uc=Un;
Ian=1000*Pn*Kpd/Un;
Omn=pi*Nn/30;
Mn=1000*Pn/Omn;
c=(Un-Ian*Rac)/Omn;
Om0=Un/c;
Iv=Uv/Rv;
Lv=5*Lac*Rv/Rac;
Lav=Mn/(Ian*Iv);
% Розрахунок пускової діаграми
Ipus=3*Ian;
Iper=1.2*Ian;
lam=(Un/(Ipus*Rac))^(1/3);
Rp1=Un*(lam-1)/(Ipus*lam)
Rp2=Rp1/lam
Rp3=Rp2/lam
```


Далі, відповідно до рис. 10, зібрати модель пуску двигуна у функції струму й задати числові значення її параметрів.

Дослідити залежності $\omega = f(i_d)$, $\omega = f(t)$, $u_d = f(t)$ і $i_d = f(t)$ при моментах опору, зазначених викладачем.

Зафіксувати отримані результати в графічному вигляді.

Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- ціль роботи;
- схему віртуального стенда в середовищі MatLab і параметри елементів;
- результати розрахунків і графіки залежностей $\omega = f(i_d)$, $\omega = f(t)$, $u_d = f(t)$, $i_d = f(t)$ і $M_c = f(t)$;
- висновки по роботі.

Контрольні питання.

- 1 Назвіть способи регулювання кутової швидкості обертання якоря ДПС незалежного збудження.
2. Запишіть рівняння електромеханічної й механічної характеристики ДПС незалежного збудження.
3. Відобразіть природну механічну характеристику ДПС незалежного збудження.
4. Відобразіть штучні механічні характеристики ДПС незалежного збудження при зміні величини живлячої напруги.
5. Відобразіть штучні механічні характеристики ДПС незалежного збудження при введенні додаткового опору в яірний ланцюг.
6. Як впливає введення додаткового опору в яірний ланцюг ДПС на зміну кутової швидкості обертання вала.
7. Призначення додаткових полюсів і компенсаційної обмотки в машині постійного струму. Показати включення додаткових полюсів і компенсаційної обмотки на прикладі електричної схеми двигуна постійного струму з незалежним збудженням.
8. Чому під час пуску ДПС по мірі його розгону зменшується струм якоря?
9. Яка мета обмеження пускового струму, як вона здійснюється на практиці і які повинні бути його значення?

Табл.1 - Каталогні дані двигунів постійного струму серії 2П

№ вар.	Тип двигуна	$P_{дн}, \text{кВт}$	$U_{дн}, \text{В}$	$n_{дн}, \text{об/хв}$	$\eta_{дн}, \%$	$R_{д}, \text{Ом}$	$L_{яц}, \text{Ом}$	$R_{в}, \text{Ом}$	$J, \text{кг} \cdot \text{м}^2$
1	2ПН90МУХЛ4	1	220	3000	0,725	3,99	0,048	92	0,004
2	2ПН100ЛУХЛ4	2,2	220	3150	0,81	1,03	0,021	81	0,012
3	2ПН132МУХЛ4	4	220	1500	0,79	0,9	0,011	35	0,038
4	2ПН132ЛУХЛ4	8,5	440	2240	0,845	1,115	0,014	25	0,048
5	2ПН160ЛУХЛ4	11	220	1500	0,855	0,169	0,0031	65,3	0,1
6	2ПН160ЛУХЛ4	16	220	2360	0,865	0,075	0,0014	49,4	0,1
7	2ПН160ЛУХЛ4	24	440	3150	0,89	0,169	0,003	13,4	0,1
8	2ПН200ЛУХЛ4	30	440	1600	0,895	0,265	0,0046	10,6	0,3
9	2ПН200ЛУХЛ4	53	440	2360	0,905	0,092	0,0021	31,7	0,3
10	2ПН200ЛУХЛ4	75	440	3150	0,915	0,051	0,0012	31,7	0,3

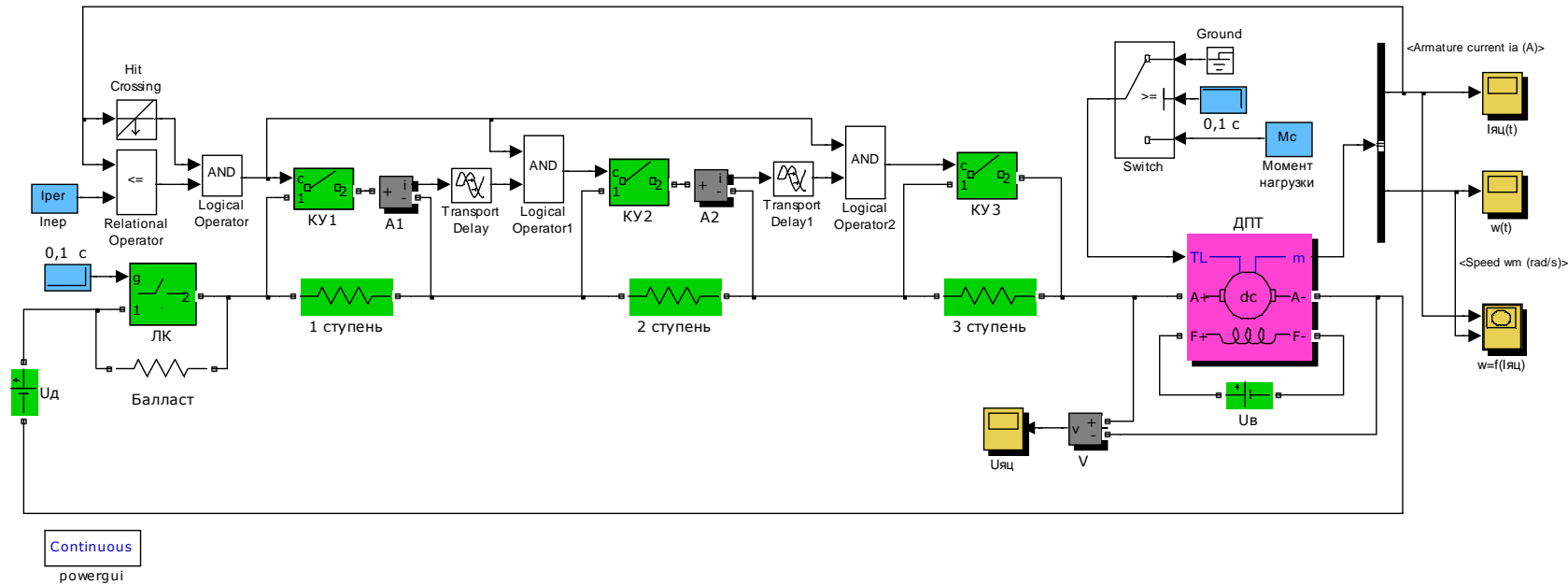


Рис. 10 - Модель реостатного пуска ДПС в три ступені

2.2. Лабораторна робота № 2. Моделювання системи регулювання швидкості ДПС з незалежним збудженням шляхом зміни величини живлячої напруги

Ціль роботи.

Одержання природної й штучних механічних характеристик ДПС з незалежним збудженням при регулюванні кутової швидкості зміною величини живлячої напруги.

Порядок виконання роботи

Відповідно до варіанта завдання, використовуючи табл.1, розрахувати вхідні параметри ДПС незалежного збудження серії 2П, необхідні для моделювання. Для цього можна використовувати програму, алгоритм якої наведений у лабораторній роботі № 1.

Далі відповідно до рис. 11 зібрати модель системи регулювання швидкості й задати числові значення її параметрів.

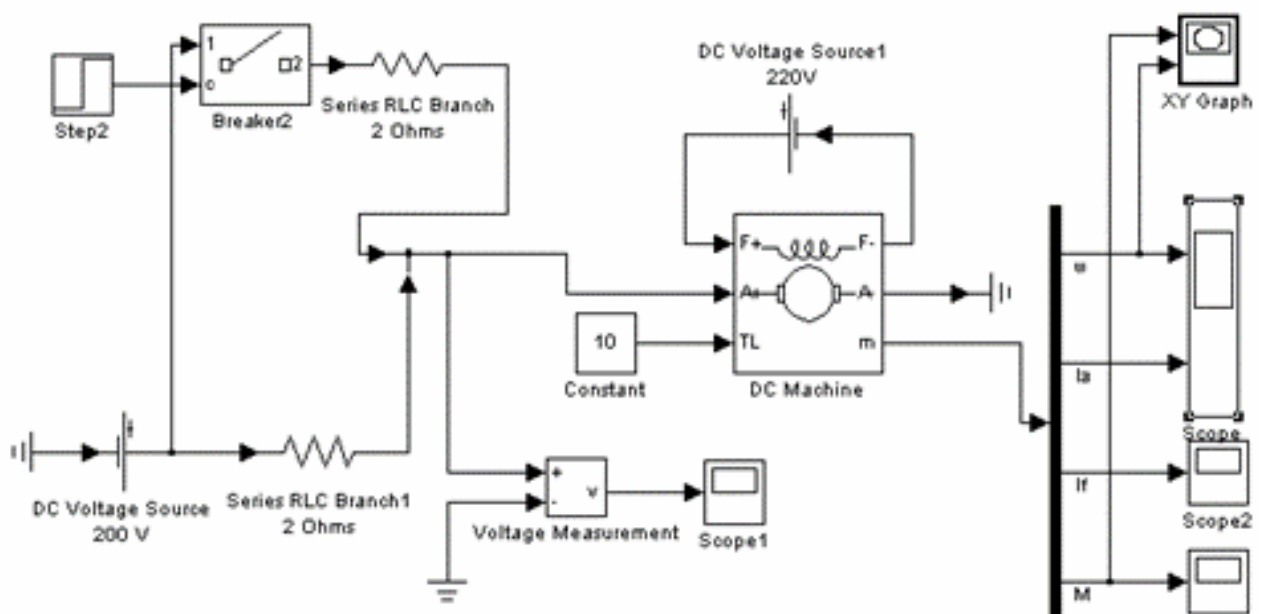


Рис. 11 - Модель системи регулювання швидкості ДПС шляхом зміни величини живлячої напруги

Дослідити залежності $\omega = f(i_d)$, $\omega = f(t)$, $u_d = f(t)$ і $i_d = f(t)$ при моментах опору, зазначених викладачем.

Зафіксувати отримані результати у графічному вигляді.

Зміст звіту.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- ціль роботи;
- схему віртуального стенда в середовищі MatLab і параметри елементів;
- результати розрахунків і графіки залежностей $\omega = f(i_d)$, $\omega = f(t)$, $u_d = f(t)$, $i_d = f(t)$ і $M_c = f(t)$;
- висновки по роботі.

Контрольні питання

1. Як впливає зміна величини живлячої напруги на кутову швидкість обертання вала ДПС?
2. Напишіть рівняння електромеханічної характеристики ДПС НЗ, розшифруйте складові величини.
3. Напишіть рівняння механічної характеристики ДПС НЗ, розшифруйте складові величини.
4. Напишіть рівняння для природної електромеханічної характеристики ДПС НЗ, розшифруйте складові величини.
5. Напишіть рівняння для природної механічної характеристики ДПС НЗ, розшифруйте складові величини.
6. Частота обертання ДПС НЗ регулюється зміною напруги на якорі. Яким при цьому буде довгостроково припустимий момент двигуна?
7. Який діапазон регулювання можна одержати при регулюванні швидкості ДПС НЗ зміною напруги на якорі?

2.3. Лабораторна робота № 3. Моделювання системи регулювання швидкості ДПС з незалежним збудженням шляхом зміни магнітного потоку в обмотці збудження

Ціль роботи

Одержання природної й штучних механічних характеристик ДПС із незалежним збудженням при регулюванні кутової швидкості ослабленням потоку обмотки збудження.

Порядок виконання роботи

Відповідно до варіанта завдання, використовуючи табл.1, розрахувати вхідні параметри ДПС незалежного збудження серії 2П, необхідні для моделювання. Для цього можна використовувати програму, алгоритм якої наведений у лабораторній роботі № 1.

Далі відповідно до рис. 12 зібрати модель системи регулювання швидкості й задати числові значення її параметрів.

Дослідити залежності $\omega = f(i_d)$, $\omega = f(t)$, $u_d = f(t)$ і $i_d = f(t)$ при моментах опору, зазначених викладачем.

Зафіксувати отримані результати в графічному вигляді.

Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- ціль роботи;
- схему віртуального стенда в середовищі MatLab і параметри елементів;
- результати розрахунків і графіки залежностей $\omega = f(i_d)$, $\omega = f(t)$, $u_d = f(t)$, $i_d = f(t)$ і $M_c = f(t)$;
- висновки по роботі.

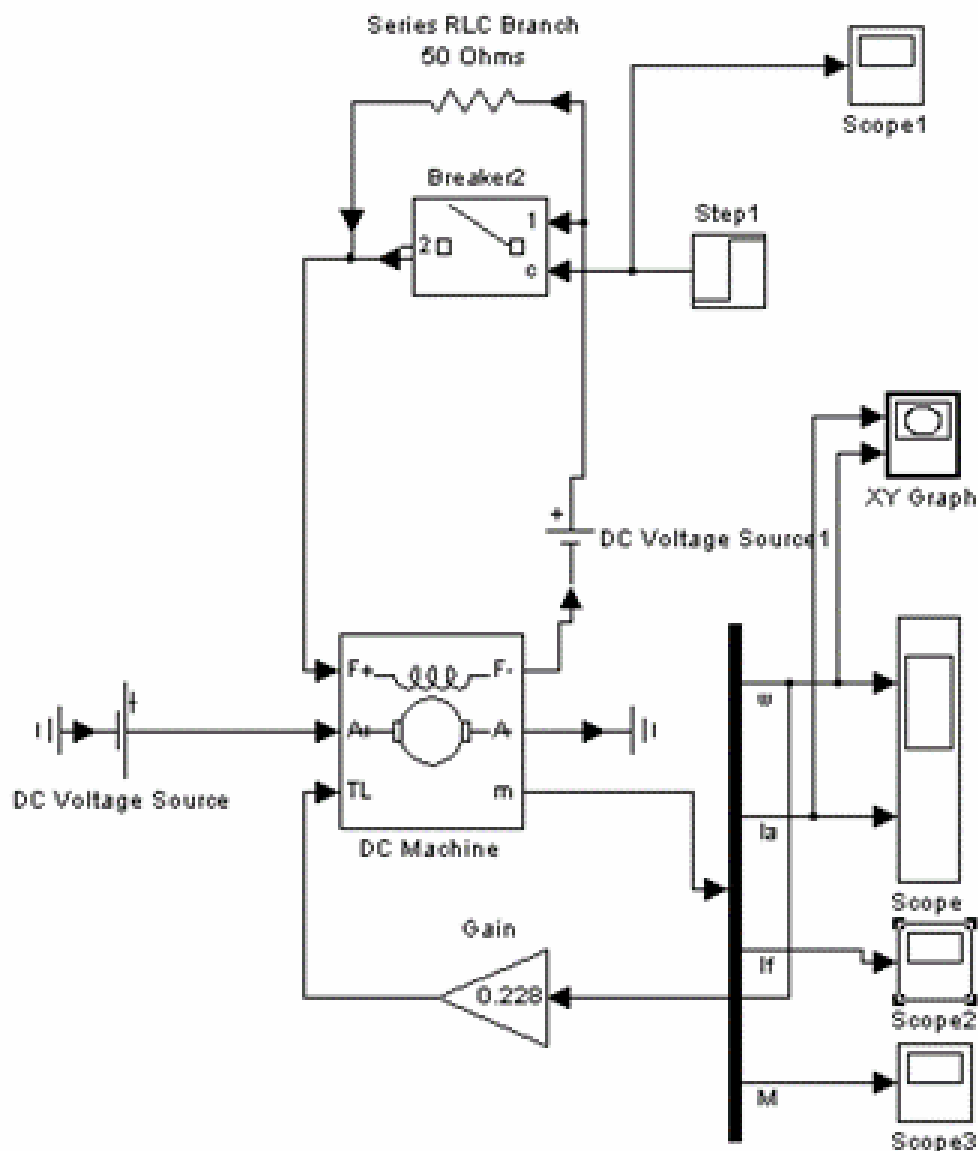


Рис. 12 - Модель системи регулювання швидкості ДПС шляхом зменшення величини магнітного потоку в обмотці збудження

Контрольні питання

1. Відобразіть штучні механічні характеристики ДПС незалежного збудження при ослабленні магнітного потоку.
2. Як впливає ослаблення магнітного потоку на кутову швидкість обертання вала ДПС?
3. Накресліть схему підключення ДПС НЗ при регулюванні швидкості ослабленням потоку збудження.

4. Як змінюють потік збудження ДПС НЗ при регулюванні швидкості (зменшують або збільшують)? Як при цьому міняється швидкість холостого ходу двигуна?

5. ДПС НЗ працює при номінальному потоці збудження й номінальній напрузі на якорі. Як зміниться швидкість холостого ходу, якщо потік збудження зменшити в 2 рази?

6. Падіння швидкості ДПС НЗ при номінальному струмі якоря, номінальному потоці збудження й номінальній напрузі на якорі становить 30 об/хв. Яким буде падіння швидкості при номінальному струмі якоря, якщо потік збудження послабити в 2 рази?

7. Накресліть електромеханічні характеристики ДПС НЗ при регулюванні швидкості ослабленням потоку збудження.

8. Накресліть механічні характеристики ДПС НЗ при регулюванні швидкості ослабленням потоку збудження. Покажіть лінію обмеження довгостроково припустимого моменту двигуна.

9. Накресліть природну електромеханічну характеристику ДПС НЗ і характеристику при ослабленні потоку збудження в 2 рази.

10. Накресліть природну механічну характеристику ДПС НЗ і характеристику при ослабленні потоку збудження в 2 рази.

11. Як змінюється довгостроково припустимий момент і потужність ДПС НЗ при регулюванні швидкості зміною потоку збудження?

12. Чим обмежується діапазон регулювання швидкості ДПС НЗ ослабленням потоку збудження?

13. Накресліть діаграми зміни довгостроково припустимого моменту й потужності ДПС НЗ при регулюванні швидкості зміною напруги на якорі й ослабленням потоку збудження.

2.4. Лабораторна робота № 4. Моделювання гальмових режимів роботи ДПС з незалежним збудженням

Ціль роботи

Одержання механічних і перехідних характеристик ДПС із незалежним збудженням при динамічному гальмуванні й гальмуванні противключенням.

Порядок виконання роботи

Відповідно до варіанта завдання використовуючи табл.1 і результати, отримані при виконанні лабораторної роботи №1, розрахувати величини гальмових опорів при динамічному гальмуванні й противключенням.

Далі відповідно до рис. 13 і рис. 14 зібрати моделі систем керування гальмовими режимами двигуна.

Одержати графіки зміни швидкості й моменту в часі, проаналізувати вплив величини гальмового опору на якість перехідного процесу.

Зафіксувати отримані результати в графічному вигляді.

Зміст звіту.

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- ціль роботи;
- схему віртуальних стендів у середовищі MatLab і параметри елементів;
- розрахунок величин гальмових опорів у режимах динамічного гальмування й противключенням;
- графіки зміни кутової швидкості й сили струму якоря в часі в гальмових режимах;
- висновки з роботи.

Контрольні питання

1. Назвіть способи електричного гальмування.
2. Чому гальмовий режим електродвигуна можна назвати генераторним?
3. Як здійснюється генераторне гальмування ДПС з незалежним збудженням?
4. Назвіть особливості й область застосування генераторного гальмування.
5. Як здійснюється динамічне гальмування ДПС з незалежним збудженням?
6. Як здійснюється гальмування противключенням у режимі «спуск-гальмо» ДПС з незалежним збудженням?
7. Назвіть особливості й область застосування гальмування в режимі «спуск-гальмо».
8. Як здійснюється реверсивне гальмування противключенням ДПС з незалежним збудженням?
9. Назвіть особливості й область застосування реверсивного гальмування противключенням.
10. Відобразіть електромеханічну характеристику ДПС у режимі генераторного гальмування.
11. Відобразіть електромеханічну характеристику ДПС у режимі динамічного гальмування.
12. Відобразіть електромеханічну характеристику ДПС у режимі реверсивного гальмування противключенням.
13. Відобразіть електромеханічну характеристику ДПС при гальмуванні противключенням у режимі «спуск-гальмо».
14. Запишіть залежності визначення величин гальмових опорів стосовно до гальмових режимів ДПС.
15. Як практично здійснити режими противключення для ДПС (електромагнітного гальма й противотока), динамічного й регульованого гальмувань? Дайте визначення цих режимів роботи, розгляньте фізичні процеси й дайте порівняння їхніх техніко-економічних показників по швидкодії, втратам і іншим особливостям.

2.5. Лабораторна робота № 5. Моделювання режимів роботи ДПС у системі "перетворювач-двигун"

Ціль роботи

Одержання механічних і електромеханічних характеристик ДПС з незалежним збудженням у системі "перетворювач-двигун".

Порядок виконання роботи.

Відповідно до варіанта завдання, використовуючи табл.1, розрахувати вхідні параметри ДПС незалежного збудження серії 2П, необхідні для моделювання. Для цього можна використовувати програму, алгоритм якої наведений у лабораторній роботі № 1.

Далі відповідно до рис. 15, 16 або 17 за вказівкою викладача зібрати модель системи регулювання швидкості в системі "перетворювач-двигун".

Одержати графіки зміни швидкості й моменту в часі, проаналізувати вплив величини гальмового опору на якість перехідного процесу.

Зафіксувати отримані результати в графічному вигляді.

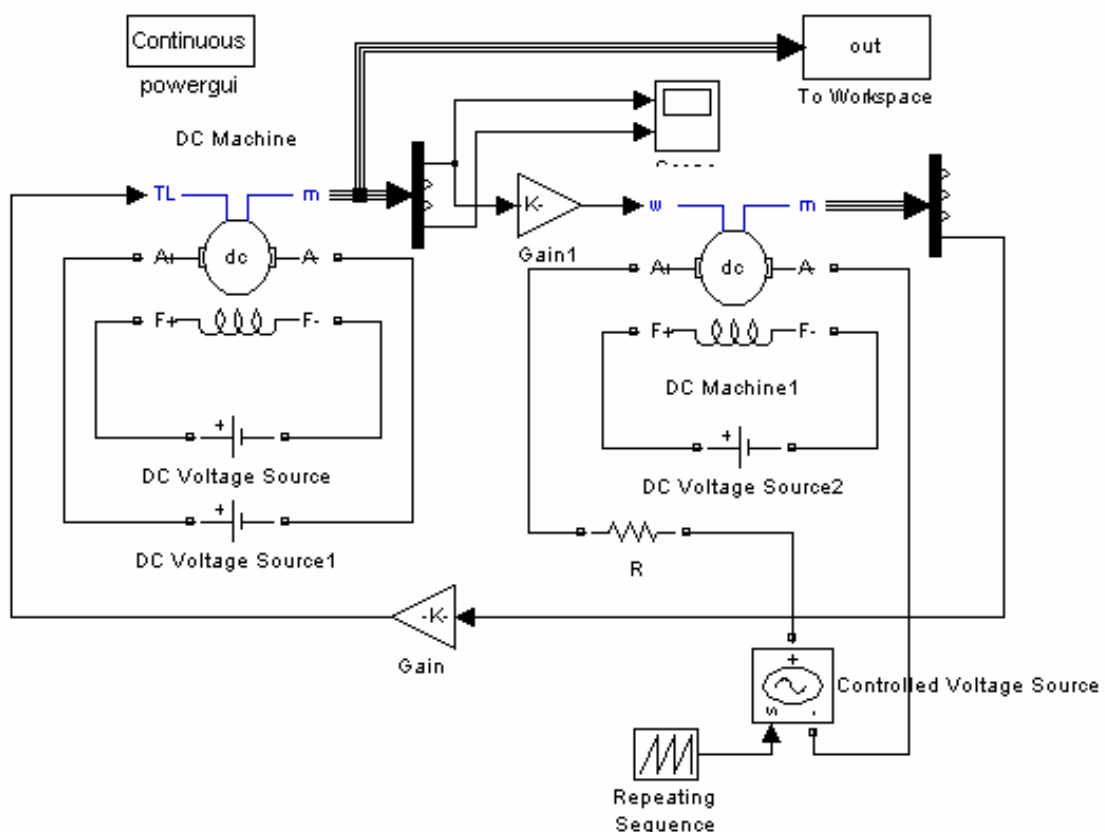


Рис. 15 - Модель системи "генератор - двигун"

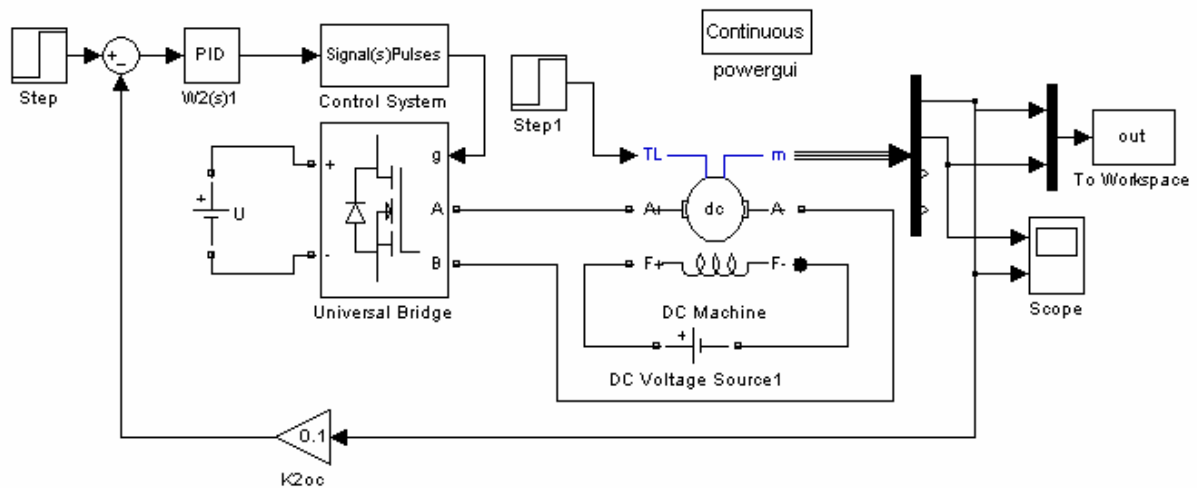


Рис.16 - Модель одноконтурної системи "ШП - двигун"

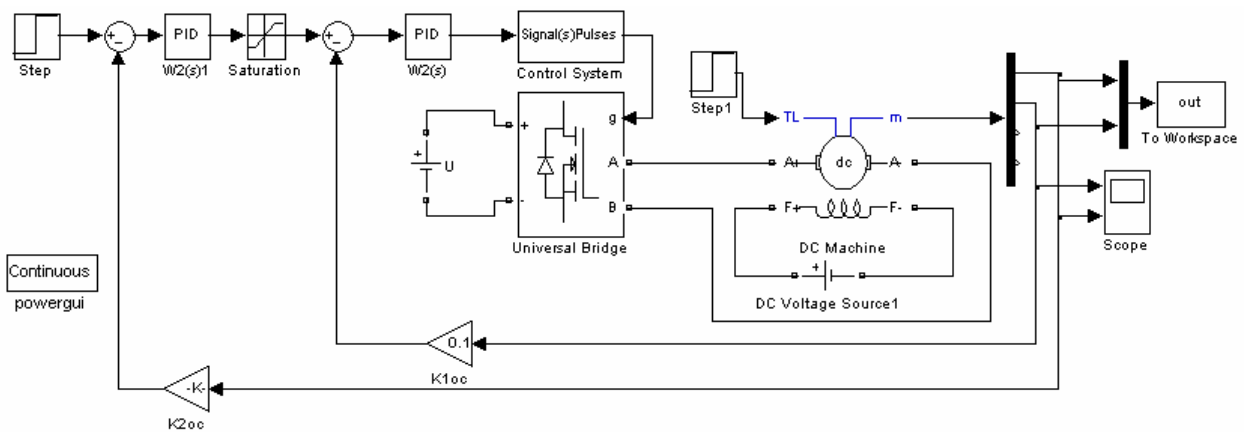


Рис.17 - Модель двоконтурної системи "ШП - двигун"

Одержати статичні характеристики системи. Для цього використати модель, надану на рис. 18.

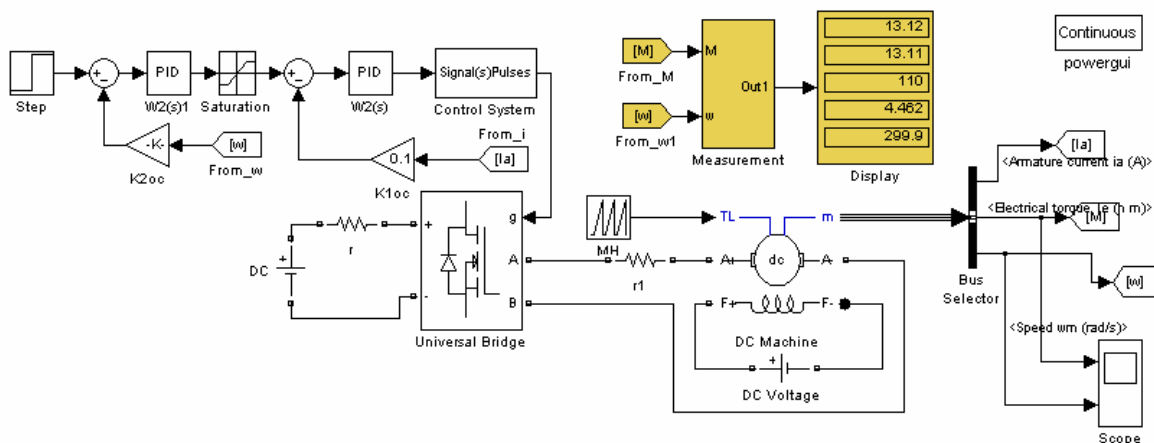


Рис.18 - Модель для дослідження статичних характеристик системи постійного струму

Тут доданий блок **Measurement** для виміру необхідних змінних. Модель блоку виміру надана на рис.19. Змінюючи момент навантаження при різних значеннях вхідного сигналу, вимірюються: струм у ланцюзі живлення блоком **Fourier Id(0)**; струм і напруга на виході ШПП (блоки **Fourier IH(0)** **Fourier UH(0)**); момент і швидкість двигуна.

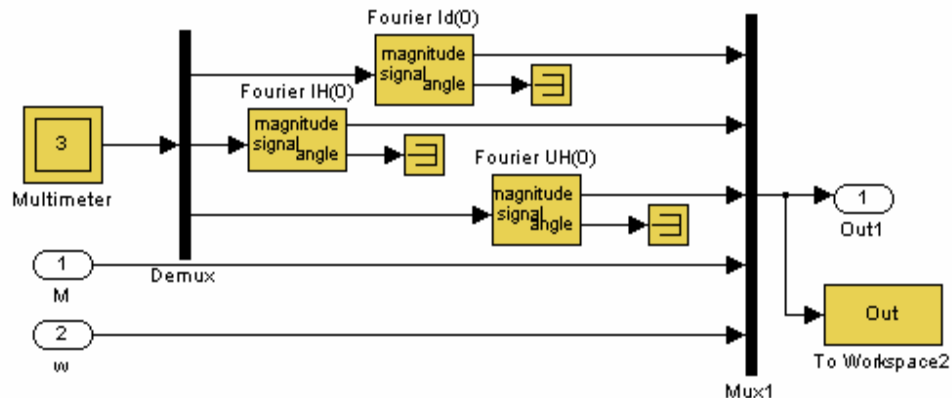


Рис.19 - Блок виміру

Всі перераховані значення визначають за показниками блоку **Display**. Значення обмірюваних величин записують в робочий простір **Matlab** для наступної обробки й побудови необхідних залежностей.

Зміст звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

- ціль роботи;
- схему віртуального стенда в середовищі MatLab і параметри елементів;
- графіки механічних і електромеханічних характеристик;
- висновки з роботи.

Контрольні питання

1. Приведіть вираження характеристики керованого випрямляча для режиму безперервного струму.
2. Чим обумовлене виникнення режиму переривчастого струму?
3. Намалюйте зовнішні характеристики випрямляча: для режиму безперервного струму; для режиму переривчастого струму.
4. Назвіть принципи керування комплектами вентилів реверсивного випрямляча.
5. Які призначення й функції логічного перемикаючого пристрою?
6. Порівняйте достоїнства й недоліки спільного й роздільного керування.
7. Які особливості регулювання швидкості вниз і вгору від номінальної?
8. Назвіть способи регулювання напруги.
9. Опишіть принципи побудови замкнутих САК.
10. Як будується система підлеглого регулювання?
11. Сформулюйте основне призначення регулятора струму.
12. За рахунок чого регулюється швидкість двигуна в системі "Г-Д"?
13. Накресліть електромеханічні характеристики при регулюванні швидкості двигуна в системі "Г-Д" зі зворотним зв'язком по швидкості.
14. За рахунок чого досягається процес стабілізації швидкості в системі "Г-Д"?
15. За рахунок чого обмежується струм якоря двигуна в пускових режимах системи "Г-Д"?
16. Як протікає процес гальмування двигуна в системі "Г-Д" при зниженні напруги на якорі?
17. Укажіть основні недоліки системи електроприводу, виконаної за схемою "Г-Д".
18. Укажіть основні елементи тиристорного перетворювача й поясніть їхнє призначення.
19. Накресліть діаграми струму й напруги для тиристорного перетворювача, виконаного по однопульсній схемі, при роботі на R навантаження.
20. Накресліть діаграми струму й напруги для тиристорного перетворювача, виконаного по однопульсній схемі, при роботі на R-L навантаження.
21. Накресліть діаграми струму й напруги для тиристорного перетворювача, виконаного по однофазній мостовій схемі, при роботі на R-L навантаження.
22. Накресліть діаграми струму й напруги для тиристорного перетворювача, виконаного за однофазною схемою з нульовою точкою, при роботі на R навантаження.
23. Напишіть рівняння для струму якоря при роботі керованого вентильного перетворювача у випрямному режимі на якорі двигуна постійного струму.
24. Накресліть діаграми струму й напруги для тиристорного перетворювача, виконаного за однофазною схемою з нульовою точкою, при роботі в інверторному режимі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Черных И. Simulink: Среда создания инженерных приложений. М.: Диалог-МИФИ. 2003.
2. Поршнев С. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB. М.: Горячая линия - Телеком. 2003.
3. Дэбни Дж., Харман Т. Simulink 4. Секреты мастерства. М.: Бином. Лаборатория базовых знаний. 2003.
4. Кондрашов В., Королев С. Matlab как система программирования научно-технических расчетов. М.: Мир. 2002.
5. Герман-Галкина С.Г. Электрические машины. Лабораторные работы на ПК/ С.Г. Герман-Галкина, Г.А. Кардонов. - СПб.: КОРОНАпринт, 2003. - 256 с.

ЗМІСТ

Передмова.....	3
1. Теоретичні відомості й рекомендації.....	4
1.1. Опис моделі двигуна постійного струму.....	4
1.2. Моделювання моменту опору навантаження.....	8
1.3. Особливості роботи ДПС.....	10
2. Лабораторний практикум.....	16
2.1. Лабораторна робота № 1. Моделювання східчастого пуску ДПС незалежного збудження у функції струму	16
2.2. Лабораторна робота № 2. Моделювання системи регулювання швидкості ДПС з незалежним збудженням шляхом зміни величини живлячої напруги.....	19
2.3. Лабораторна робота № 3. Моделювання системи регулювання швидкості ДПС з незалежним збудженням шляхом зміни магнітного потоку в обмотці збудження.....	21
2.4. Лабораторна робота № 4. Моделювання гальмових режимів роботи ДПС з незалежним збудженням	24
2.5. Лабораторна робота № 5. Моделювання режимів роботи ДПС у системі "перетворювач-двигун"	27
Список літератури.....	31

НАВЧАЛЬНЕ ВИДАННЯ

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу **«Автоматизований електропривод»** (для студентів 4 курсу денної і заочної форм навчання напряму 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» (0906 «Електротехніка») зі спеціальності «Електротехнічні системи електроспоживання»).

Укладачі: Абраменко Іван Григорович,
Абраменко Денис Іванович

Відповідальний за випуск *П. П. Рожков*
Редактор *З. І. Зайцева*
Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

План 2010, поз. 240 М

Підп. до друку 29.11.2010 р.

Формат 60x84 1/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 1,4

Зам. №

Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 731 від 19.12.2001